

Received : March 2017

Accepted: March 2017

Published : April 2017

## Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kendali Pi

*Hilmansyah<sup>1</sup>, Risty Jayanti Yuniar<sup>2</sup>, Ramli<sup>3</sup>*<sup>1</sup>Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan<sup>2</sup>Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan<sup>3</sup>Perbankan dan Keuangan, Politeknik Negeri Balikpapan

\*hilmansyah555@gmail.com

### Abstract

*The wind can be used as a power generator. Because of Indonesia have a huge potential of wind power made wind power generators to be one the best solution to overcome of limited energy problems. The quality of electrical power is an issue that they encountered in wind power generators. The problem can be the deviation of voltage, current and frequency can lead to failure or incorrect operation on energy consumer appliances. One of important element in the power generation system is a generator. In this research, conducted simulating and analysis the result of the controlled wind turbine induction generator. Control carried out using PI control (Proportional Integral). Optimal values obtained at  $k_p = 10$  and  $k_i = 30$  at a wind speed of 12 m / s with a settling time of 3 seconds.*

*Keywords : proportional, integral, induction generator, wind turbine*

### Abstrak

Angin dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber pembangkit tenaga listrik. Mengingat Indonesia merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin menjadi salah satu solusi yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi. Kualitas daya listrik merupakan masalah yang ditemui dalam pembangkit listrik tenaga angin. Masalah tersebut dapat berupa penyimpangan tegangan, arus maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan konsumen energi listrik. Salah satu elemen yang penting dalam sistem pembangkitan listrik yaitu generator. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi dan analisa hasil pengendalian *wind turbine induction* generator. Pengendalian dilakukan menggunakan kendali PI (*Proportional Integral*). Didapatkan nilai optimal pada  $k_p=10$  dan  $k_i=30$  pada kecepatan angin 12 m/s dengan *settling time* 3 sekon.

Kata kunci : proportional, integral, generator induksi, turbin angin

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia untuk tetap bertahan di bumi. Sumber energi terbagi menjadi dua yakni sumber energi terbarukan dan sumber energi tidak terbarukan. Kebutuhan energi yang semakin meningkat tidak sebanding dengan pasokan sumber energi tidak terbarukan yang ada (bahan bakar fosil). Salah satu alternatif untuk mengatasi krisis energi tersebut adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, salah satunya dengan tenaga angin. Di Indonesia pembangkit listrik tenaga angin banyak dimanfaatkan di bidang perikanan dan pertanian. Tenaga angin dimanfaatkan untuk

menggerakkan turbin sehingga energi listrik yang timbul dapat membuat pompa mengaliri tambak maupun sawah petani dan dapat menghidupkan lampu di area tambak maupun sawah.

Angin dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber pembangkit tenaga listrik. Mengingat Indonesia merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin menjadi salah satu solusi yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi. Salah satu keuntungan menggunakan tenaga angin adalah sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya melimpah. Pembangkit listrik

tenaga angin mengkonversi energi angin menjadi energi listrik menggunakan turbin angin.

Kualitas daya listrik merupakan masalah yang ditemui dalam pembangkit listrik tenaga angin. Masalah tersebut dapat berupa penyimpangan tegangan, arus maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan konsumen energi listrik. Salah satu elemen yang penting dalam sistem pembangkitan listrik yaitu generator.

Generator induksi dengan prinsip *squirrel cage* digunakan pada beberapa sistem konversi tenaga angin. Generator ini membuktikan efisiensi yang berkualitas meliputi kekuatan, biaya rendah dan mudah dipakai saat dihubungkan secara langsung pada suatu jaringan. Namun demikian pembangkit turbin angin dirancang agar kecepatan generator konstan mendekati kecepatan sinkron sehingga akan mengurangi kemungkinan bertambahnya energi listrik yang dihasilkan oleh kecepatan angin.

Pengendalian digunakan untuk menghasilkan tenaga maksimal dari turbin angin. Sistem pengendalian dilakukan menggunakan metode PI. Sistem kendali PI memiliki kelebihan yaitu dapat mengoreksi error sehingga dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas system. Tujuan kontroler adalah untuk memaksimalkan daya turbin di atas kecepatan angin nominal, yang berfungsi untuk mempertahankan daya turbin konstan dengan membatasi beban turbin dan daya generator. Studi kasus dalam penelitian ini adalah di wilayah Balikpapan dimana Balikpapan mempunyai potensi angin yang bagus untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin terutama di daerah pantai.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana membuat model system pembangkit listrik tenaga angin yang sesuai dengan kondisi sebenarnya?

2. Bagaimana merancang system kendali PI dalam pengoptimalan daya?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem kendali kualitas daya yang optimal sesuai dengan kebutuhan konsumen.
2. Mengimplementasikan sistem kendali PI dalam pengontrolan daya.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mampu mengoptimalkan kualitas daya dan tegangan sesuai dengan kebutuhan konsumen.
2. Memberikan kontribusi di bidang ketahanan energi listrik.

## 2. Metoda Penelitian

### 2.1. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pemodelan turbin disesuaikan dengan kondisi turbin dan sistem pembangkit listrik tenaga angin yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Sistem akan diberikan *input* kecepatan sesuai dengan hasil pengukuran kecepatan sebenarnya di lapangan. Data kecepatan angin didapatkan dari hasil observasi selama 30 hari. Teknik pengendalian putaran rotor generator menggunakan kendali PI yang dapat mengontrol sehingga tidak melebihi daya nominal.

### 2.2. Perancangan Kendali PI

Perancangan kontroler PI yang handal dilakukan dengan merubah nilai penguatan  $k_p$  dan  $k_i$  sehingga didapatkan nilai penguatan yang handal pada sistem kendali pembangkit listrik tenaga angin.

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara masukan kontroler  $u(t)$  dan sinyal pembangkit kesalahan  $e(t)$  adalah:

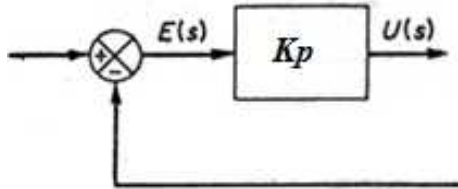
$$u(t) = K_p e(t) \quad (1)$$

atau dalam besaran transformasi Laplace

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2)$$

Dengan  $K_p$  adalah suku penguatan proporsional.[3]

Apapun mekanisme sebenarnya dan apapun bentuk gaya operasi kontroler proporsional pada dasarnya suatu penguat dengan penguatan yang dapat disetel. Diagram blok kontroler ini ditunjukkan pada Gambar 1[3].



Gambar 1. Diagram Blok Kontroler Proporsional [3].

Pada kontroler dengan aksi kontrol integral nilai masukan kontroler  $u(t)$  diubah pada laju proporsional dari sinyal pembangkit kesalahan  $e(t)$ . Sehingga

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (3)$$

Atau

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (4)$$

Dengan  $K_i$  adalah konstanta yang dapat diubah. Fungsi alih dari kontroler integral adalah:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (5)$$

Jika nilai  $e(t)$  ada dua (double), maka nilai  $u(t)$  bervariasi dua kali secara cepat. Untuk pembangkit kesalahan nol, nilai  $u(t)$  tetap konstan. Aksi kontrol integral biasanya disebut kontrol reset. Gambar 2 menunjukkan diagram blok kontroler yang dimaksud[3].

Aksi kontrol kontroler proporsional ditambah integral didefinisikan dengan persamaan berikut,[3]

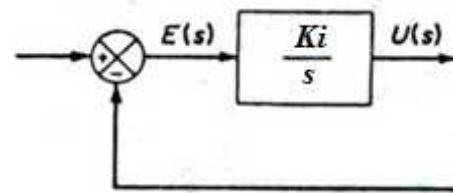
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (6)$$

Atau fungsi alih kontroler ini adalah,

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} \right] \quad (7)$$

Dengan  $K_p$  penguatan proporsional dan  $T_i$  disebut waktu integral. Keduanya,  $K_p$  dan  $T_i$  dapat ditentukan. Waktu integral mengatur aksi kontrol internal sedangkan perubahan nilai  $K_p$  berakibat pada bagian aksi kontrol proporsional maupun integral. Kebalikan waktu integral  $T_i$  disebut laju reset. Laju reset

adalah bilangan yang menunjukkan berapa kali tiap menit bagian proporsional dari aksi kontrol diduplikasi. Laju reset diukur dalam pengulangan per menit[3].



Gambar 2. Diagram Blok Kontroler Integral [3].

## 2.3. Simulasi Model

Sebelum dilakukan proses simulasi dilakukan proses validasi model untuk mengetahui apakah model yang dibuat telah sesuai dengan kondisi sebenarnya. Model yang telah dibuat diberi data *input* kecepatan angin sesuai dengan hasil pengukuran kecepatan angin yang sebenarnya. Hasil pengukuran daya akan dicatat dan dianalisa. Hasil analisa akan menentukan apakah wilayah tersebut layak untuk dibuat pembangkit listrik tenaga angin.

## 3. Hasil Penelitian

### 3.1. Pengambilan Data

Pada penelitian ini diberikan input berupa kecepatan angin dan output berupa daya. Data kecepatan angin diambil di wilayah km 8. Pengukuran kecepatan angin (data primer) di km 8 dilakukan secara manual menggunakan anemometer. Proses pengambilan data primer dilakukan mulai 1 Juli 2016 sampai 31 Juli 2016 yang dilakukan secara manual dengan pengukuran sampling setiap jam selama 8 jam perhari mulai pukul 8 pagi sampai 16.00 WIITA.

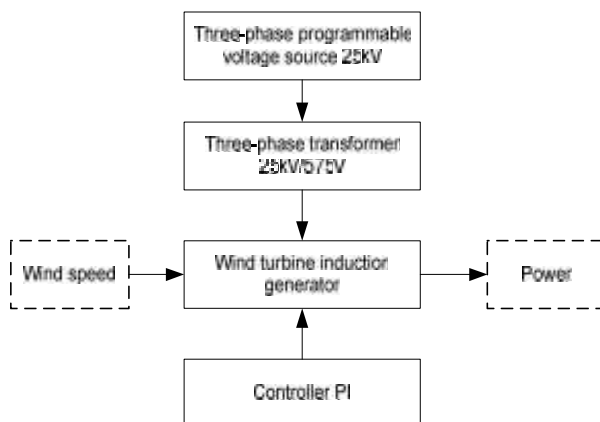
### 3.2. Perumusan Model

Sebagian besar sistem kontrol adalah optimalisasi daya turbin. Dalam tipikal turbin angin, ada beberapa yang memiliki nilai di bawah kecepatan angin nominal (*rate wind speed*), tujuan kontroler adalah untuk memaksimalkan daya turbin diatas kecepatan angin nominal, yang berfungsi untuk

mempertahankan daya turbin konstan dengan membatasi beban turbin dan daya.

Spesifikasi generator induksi turbin angin yang diuji sebagai berikut:

Nom.power	: $1,5 \cdot 10^6$ VA
$V_n$	: 575 V
Frekuensi	: 60 Hz
Maximum pitch angle	: $45^\circ$
Tahanan stator $R_s$	: 0,004843 pu
Tahanan rotor $R_r$	: 0,004377 pu
Tingkat kebocoran stator $L_s$	: 0,1248 pu
Tingkat kebocoran rotor $L_r$	: 0,1791 pu
Induksi magnet	: 6,77 pu
Inersia constant	: 5,04
Friction factor (F)	: 0,01 pu
Pairs of poles	: 3



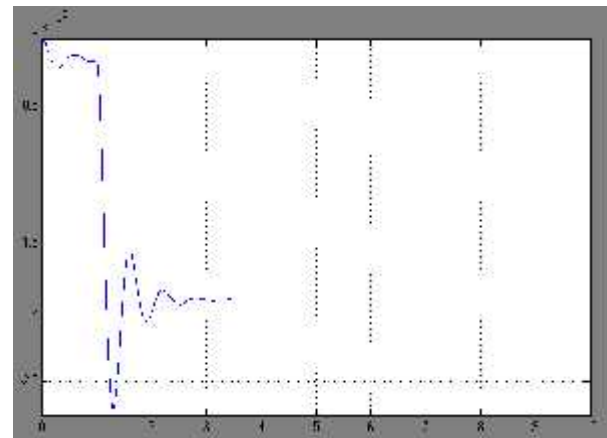
Gambar 3. Blok Diagram Pemodelan Wind Turbine Induction Generator

### 3.3. Simulasi dan Analisa Model

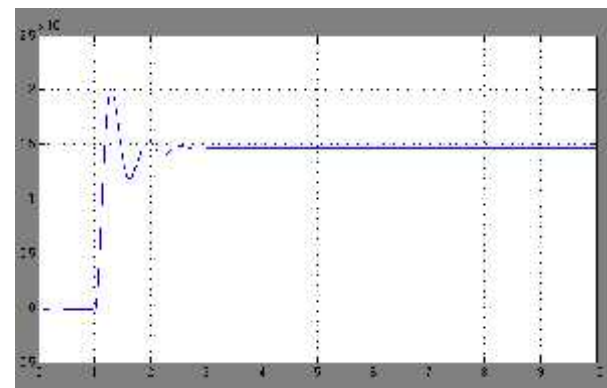
Perumusan kontroler dilakukan untuk mendapatkan performansi sistem yang maksimal. Pada penelitian digunakan kendali PI (*Proportional Integral*) untuk mengendalikan *wind turbine induction generator*. Parameter yang digunakan adalah  $k_p$  yang merupakan penguatan dari kontroler proporsional dan  $k_i$  yang merupakan penguatan dari kontroler integral. Nilai  $k_p$  dan  $k_i$  didapatkan dari metode *trial and error* dimana dilakukan beberapa percobaan untuk mendapatkan nilai  $k_p$  dan  $k_i$  yang tepat. Dalam penelitian ini didapatkan nilai optimal untuk  $k_p=10$  dan  $k_i=30$ . Variabel kecepatan angin

diberikan melalui data yang telah didapatkan. Didapatkan nilai kecepatan angin rata-rata sebesar 6 m/s dengan kecepatan angin tertinggi 17 m/s. percobaan dilakukan menggunakan kecepatan angin 6 m/s, 12m/s dan 17 m/s.

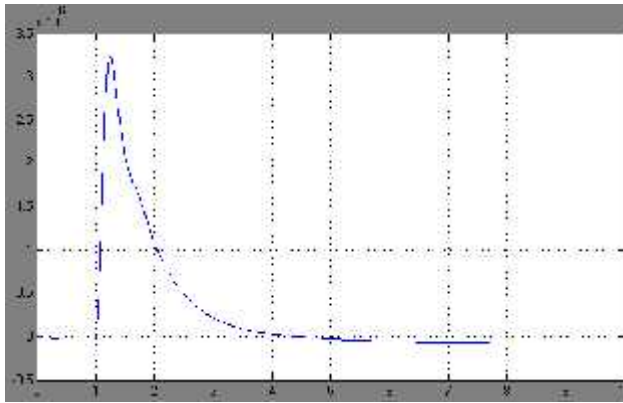
Berdasarkan percobaan perubahan kecepatan angin didapatkan hasil maksimal dengan nilai  $k_p=10$ ,  $k_i=30$  dan kecepatan angin 12 m/s. daya aktif yang dihasilkan sebesar  $1,461 \cdot 10^6$  W dengan  $t_s=3s$ .



Gambar 4. Grafik daya aktif  $k_p=10$ ,  $k_i=30$ , kecepatan angin= 6 m/s



Gambar 5. Grafik daya aktif dengan  $k_p=10$ ,  $k_i=30$ , kecepatan angin=12m/s



Gambar 6. Grafik daya aktif  $k_p=10$ ,  $k_i=30$ , kecepatan angin= 17 m/s

- [5] Vladislav Akhmatov, "Variable-Speed Wind Turbines with Doubly-Fed Induction Generators, Part I: Modelling in Dynamic Simulation Tools," *Wind Engineering Volume* 26, No. 2, 2002.

#### 4. Kesimpulan

Dari serangkaian percobaan didapatkan nilai penguatan optimal untuk kontroler PI sebesar  $k_p=10$  dan  $k_i=30$ . Dan kecepatan angin rata-rata di km 8 sebesar 6 m/s menghasilkan sistem yang tidak optimal. Sistem optimal pada kecepatan angin 12 m/s dengan menghasilkan daya  $1,461.10^6$  W dengan *settling time* 3 sekon.

#### 5. Saran

Saran yang didapat dari hasil penelitian yang telah dilakukan pengukuran data yang dilakukan diperlukan waktu yang lebih lama lagi untuk memastikan kestabilan angin dalam kurun waktu tertentu. Misalnya dapat dilakukan pengukuran data selama 24 jam. Dan pengukuran data dapat dilakukan pada daerah pesisir yang banyak dialiri oleh kecepatan angin yang tinggi dan stabil.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] Andreas Petersson, "Analysis, Modelling and Control of Doubly-Fed Induction Generator for Wind turbines", Chalmers University of Technology, Göteborg, 2005.
- [2] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", CRC Press, New York, 1999.
- [3] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [4] Siegfried Heier, "Grid Integration of Wind Energi Conversion Systems" John Wiley & Sons Ltd, 1998.